



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE GRANOS Y RENDIMIENTO EN LA POBLACIÓN ARGENTINA DE ALPISTE Y UN CULTIVAR SEMIENANO DE TRIGO.

J. L. Bodega, M. M. Pereyra Iraola and M. A. de Dios ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Cátedra de Cereales y Oleaginosas, Departamento de Producción Vegetal, Suelos e Ingeniería Rural, C.C. 276, (CP 7620) Balcarce, Argentina. E-mail: bodega.joseluis@inta.gob.ar

Recibido: 14-12-2015

Aceptado: 21-04-2016

RESUMEN

La producción y partición de materia seca y su relación con la determinación del número de granos (NG) (y del rendimiento) fueron estudiadas en forma comparativa en la población argentina de alpiste y un cultivar de trigo semienano. El estudio se llevó a cabo durante los años 2000, 2001 y 2002 en la Estación Experimental Agropecuaria del INTA Balcarce, Argentina. Se utilizó la población argentina de alpiste (*Phalaris canariensis* L.) y un cultivar de trigo (*Triticum aestivum* L.) de buen comportamiento en la zona sudeste de la Pcia. Bs. As (cv.Buck Sureño). Los cultivos se hicieron crecer bajo condiciones de secano sin limitaciones de nutrientes y en ausencia de malezas y enfermedades. En promedio, el rendimiento en grano de trigo fue 3,6 veces mayor que el de alpiste. En ambos cultivos, el rendimiento de grano se asoció con el NG. Las variaciones en el NG se asociaron con el peso seco de las inflorescencias en la antesis. El índice de fertilidad de espiga fue 3,4 veces mayor en trigo que en alpiste. La biomasa aérea acumulada en antesis fue similar en ambos cultivos, pero la biomasa aérea particionada a la inflorescencia fue mayor en trigo. El mayor peso seco, en antesis, de la inflorescencia de trigo en relación con la panoja de alpiste fue el resultado de: (a) un mayor período de crecimiento, preantesis, 21 días en trigo vs 14 días en alpiste y (b) mayor partición de materia seca a la inflorescencia durante ese período. La mejora de estos dos aspectos, en los futuros cultivares de alpiste, seguramente permitirá incrementar el rendimiento de granos. La mayor extensión del período de crecimiento de la panoja, previo antesis, sin cambios en la fenología, puede mejorar, también, la partición de materia seca a la panoja y con ello el número de granos y el rendimiento

Palabras clave: Alpiste, trigo, Índice de cosecha, Índice de fertilidad, peso seco espigas/panojas

SUMMARY

Dry matter production and partitioning, and its relationship with GN determination (and yield) were studied in a semidwarf wheat cultivar and a Argentinean canarygrass population. The study was carried out during the 2000, 2001 and 2002 growing seasons at the Agricultural Experimental Station of INTA Balcarce, Argentina. A wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivar with high yield potential (Buck Sureño) and the Argentinean canarygrass population were used. Crops were grown under rainfed conditions with the appropriate nutrient supply, and diseases and weeds were controlled. On average, grain yield in wheat was 3.6 times higher than in canarygrass. In both crops, grain yield was associated to GN. Variations in GN were associated to the dry weight of inflorescence at anthesis. Fertility index was 3.4 times higher for wheat than for canarygrass. The aboveground biomass accumulated at anthesis was similar in both crops, but the aboveground biomass partitioned to the spike was higher in wheat. Differences between wheat and canarygrass inflorescence dry weight resulted from (a) a longer spike growth period in wheat (21 and 14 days, respectively) prior to anthesis and (b) a higher dry matter partitioning to the inflorescence during such period. Improving these two aspects in future cultivars canaryseed, surely allow achieving higher grain yields. In this sense the greatest extent of the growth of the panicle pre-anthesis will improve the partition panicle dry matter and therefore the number of grains and yield.

Key words: Canarygrass, wheat, harvest index, fertility index, spike/panicle dry weight.

1. INTRODUCCIÓN

Alpiste (*Phalaris canariensis* L.) es un cultivo anual con un ciclo y prácticas de manejo similares a las utilizadas en trigo pan (*Triticum aestivum* L.) (Miralles *et al.*, 2000; Bodega *et al.*, 2003a,b, 2010). Su principal destino es la alimentación de aves canoras. Aunque la producción mundial de alpiste es de poca significancia (166.815 t, año 2013) (FAOSTAT, 2015), la Argentina, junto con Canadá y Tailandia, se encuentra entre los principales países productores, a nivel mundial, ocupando el segundo lugar entre los países exportadores después de Canadá. La producción argentina de alpiste (31.657 t. en 2014-15) (SIIA, 2015) se destina en su casi totalidad a la exportación, siendo Brasil el principal comprador.

En la Argentina más del 90 % del área de siembra se encuentra localizado en el sudeste de la provincia de Buenos Aires y aunque el alpiste figura en las estadísticas oficiales desde el siglo XIX, poca atención se ha puesto en el mejoramiento genético de la especie, lo cual se evidencia en la ausencia de cultivares comerciales registrados. Los productores para la siembra, utilizan su propia semilla o la que adquieren de otros productores o plantas de acopio con la denominación de "alpiste común" (Serrano y Maddaloni, 1964) o "población Argentina" (Bodega *et al.*, 1995). La información sobre prácticas de manejo del cultivo es escasa (Miralles *et al.*, 2002.) sobre todo cuando se compara con otros cultivos extensivos, tales como trigo, maíz, soja y girasol (Andrade y Sadras, 2000; Slafer *et al.*, 2003).

Si bien la investigación nacional e internacional sobre ecofisiología de la producción de cultivos ha estado dirigida a los granos de mayor importancia económica, es posible analizar similitudes y diferencias entre ellos a través de estudios comparativos en donde aplicando los conocimientos y la información existente de un cultivo conocido (trigo) se puede avanzar en el conocimiento de otros poco estudiados (alpiste)

En trigo, los cambios más importantes en el rendimiento de grano se asociaron con la presencia de los genes de enanismo. Los mayores rendimientos de estos cultivares estuvieron explicadas por la menor altura de sus tallos que les conferían resistencia al vuelco de plantas y promovían una mejor respuesta al agregado de nitrógeno, además se observó que la reducción en la altura de los tallos iba acompañada de un incremento en la partición de asimilados a la espiga lo que mejoraba la sobrevivencia de flores, produciendo un mayor número de granos por espiga y aumentos en el índice de cosecha (IC), sin cambios importantes en el rendimiento total del cultivo (Brooking y Kirby, 1981; Fischer, 1984, 1985, 2007, 2008; Austin *et al.*, 1989; Siddique *et al.*, 1989; Calderini *et al.*, 1999; Brancourt-Hulmel *et al.*, 2003; Slafer *et al.*, 2005; Acreche *et al.*, 2008; Bancal, 2008; Arne *et al.*, 2012).

Aunque en los últimos años el incremento del rendimiento potencial en trigo ha sido asociado a un aumento en la producción de biomasa en cultivares comerciales (Donmez *et al.*, 2001; Reynolds *et al.*, 2005, 2009; Foulkes *et al.*, 2011) y en híbridos (Bodega y Andrade, 1996), las diferencias observadas entre los actuales cultivares argentinos (0,42) (González *et al.*, 2011) y los máximos teóricos (0,62 y 0,64) indicados por Austin *et al.* (1980); y por Foulkes *et al.* (2011), respectivamente, constituyen evidencias claras de que aún hay margen para mejorar los rendimientos de granos buscando mejorar el IC. La comparación de estos valores con los publicados para alpiste (<0.20) (Harbison, 1986; Bodega *et al.*, 1995, 2003a, 2010; Cogliatti *et al.*, 2011) sugieren que, en este cultivo, hay aún mayores posibilidades para la búsqueda de nuevos cultivares a través de la mejora del índice de cosecha.

Como en alpiste no tenemos cultivares con genes de enanismo, la altura que los tallos alcanzan en condiciones de buena humedad y fertilidad, hacen que sean muy sensibles al vuelco de plantas por lo que este aspecto constituye una importante limitante al incre-

mento de los rendimientos en lotes y/o años con muy buenas condiciones agronómicas (Pascale y Giordano, 1962; Serrano y Madaloni, 1964; Miralles *et al.*, 2002; Bodega *et al.*, 2003a, b). La búsqueda de plantas con tallos más cortos, manteniendo el actual rendimiento biológico, constituye un importante desafío en la búsqueda de cultivares mejorados de la especie. En alpiste (Bodega *et al.* 1995, 2003 a, b., 2010), al igual que en trigo, las variaciones de rendimiento entre lotes de producción y años, se atribuyen a cambios en el número de granos por unidad de superficie (NG), sin cambios significativos en el peso de los granos. Similares resultados fueron informados por Cogliatti *et al.* (2011).

Muchos estudios realizados en distintos lugares del mundo muestran que el incremento en el NG en trigo va acompañado de un incremento paralelo en el rendimiento y que el NG está fuertemente asociado con el peso seco de las espigas, sin granos en antesis. Sobre esta base Fischer (1984, 1985, 2007, 2008) sugiere considerar al NG como el resultado de (a) La duración del período de crecimiento de la inflorescencia; (b) la tasa de crecimiento del cultivo durante este período; (c) la materia seca particionada a la espiga durante este período; (d) el número de granos por unidad de peso seco de espiga (índice de fertilidad). De acuerdo con este autor, el período de mayor sensibilidad para la definición del NG en trigo se extendería desde 30 días previos a antesis, cuando la espiga y los tallos se encuentran en activo crecimiento, hasta 10 días posteriores a antesis, cuando la flores fertilizadas deben fijarse (Savin y Slafer, 1991; Calderini *et al.*, 2001; Slafer *et al.*, 1994; 2003).

La mejora en la disponibilidad de carbohidratos para la espiga durante este período crítico (e.g. altos niveles de radiación) producirán espigas más pesadas en antesis con mayor NG y rendimiento. Por el contrario, altas temperaturas disminuirán el número de granos por espiga, dando espigas de menor peso por menor acumulación de materia seca causado

por la aceleración del crecimiento. El cociente fotothermal resultado de la relación entre la radiación incidente y la temperatura media en este período crítico, ha resultado ser un buen estimador del número de granos fijado (Fischer, 1985).

Tanto en la Argentina como en el mundo, los estudios sobre la ubicación y duración del período crítico para la definición del NG y el rendimiento en alpiste son escasos. Con sombreos aplicados al cultivo en diferentes estados de crecimiento, Bodega *et al.* (2010) encontraron que el período crítico para la definición del NG en alpiste se extiende desde 35 días previos a antesis hasta los 20 días posteriores a la misma. Los autores asocian los cambios en el rendimiento con cambios en el NG, sugiriendo al cociente fotothermal como un buen indicador del número de granos fijados.

Buscando detectar las similitudes y diferencias entre trigo y alpiste en lo que hace a la determinación del rendimiento y sus componentes numéricos, se realizó este estudio comparativo utilizando un cultivar semienano de trigo pan y la población argentina de alpiste.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Descripción general y tratamientos

El trabajo fue realizado durante los ciclos agrícolas 2000-01; 2001-02; 2002-03 en el campo de la Estación Experimental Agropecuaria del INTA en Balcarce, Provincia de Buenos Aires, Argentina (37° 45' S y 58° 18' O a una altitud de 130 m s.n.m) en un suelo Argiudol típico de textura franca con un horizonte superficial con las siguientes características: ph= 5,7- 5,9; MO=5,6-5,9%; fósforo extractable=12-14 ppm (Bray y Kurtz); y N-NO₃ (0-60cm)= 40-55 kg ha⁻¹.

El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con cuatro repeticiones. Las parcelas experimentales fueron de 14 surcos distanciados a 0,20 m por un largo de 5,5 m (15,40 m²). El momento de siembra, en

cada año, fue el mismo para ambos cultivos. La siembra se realizó con una sembradora de parcelas Wintersteiger (Model TRM 2200) el 27 de julio del 2000, 24 de julio en el 2001 y 5 de agosto en 2002, a una densidad de 350 semillas m⁻² para alpiste y trigo.

El cultivar de trigo utilizado fue Buck Sureño, un cultivar aristado de ciclo intermedio de alto potencial de rendimiento, buena adaptabilidad y buena calidad panadera según los ensayos de la red oficial de cultivares de trigo. La población de alpiste utilizada es la denominada población argentina, aquella que se siembra en prácticamente toda la región alpistera argentina y que fue obtenida por multiplicación en parcelas experimentales en la Facultad de Ciencias Agrarias de Balcarce.

Todos los años el campo experimental se fertilizó con fosfato diamónico (18-46-0) a razón de 100 kg ha⁻¹ y fue incorporado con una rastra de discos previo a la siembra. El nitrógeno se aplicó en forma de urea a razón de 55-65 kg N ha⁻¹ para alpiste y de 140-160 kg N ha⁻¹ en trigo, las aplicaciones se realizaron en macollaje. Las diferencias en las dosis de fertilizante, nitrogenado, aplicadas en ambos cultivos se debieron a sus diferentes potenciales de rendimiento (Holt, 1988; García y Berardo, 2005; Way *et al.*, 2012; Saskatchewan Ministry of Agriculture, 2013). Las malezas fueron controladas con una aplicación post emergente de 2,4-D ester (120 cc. a. i ha⁻¹) + MCPA (112 cc a. i ha⁻¹) + Dicamba (75 cc. a. i ha⁻¹) en el estado de 5 hojas, cuando la altura de seudotallos se encontraba entre 8 y 10 cm, medido desde la base del tallo hasta la última lígula. Insectos y enfermedades fueron controladas con aplicaciones de insecticidas y fungicidas.

2.2. Muestreos y medidas

Desde la emergencia (Z1.0; Zadoks *et al.*, 1974), las plantas fueron examinadas periódicamente (al menos 2 veces en la semana). La fecha de primer nudo detectable (Z3.1) se registró cuando >50% de 10 ejes principales tomados al azar habían alcanzado ese estado.

La misma metodología fue utilizada para determinar el estadio de inicio de antesis (Z6.1) y madurez (Z9.2). La duración del período de elongación del tallo (en días) se extendió desde el primer nudo detectable hasta antesis (Z3.1 a Z6.1). El período desde emergencia a antesis (Z1.0 a Z6.1) fue expresado en días y en tiempo térmico; el tiempo térmico acumulado (°Cd) se calculó como:

$$^{\circ}\text{Cd} = \sum (t_m - t_b), \text{ ec. 1}$$

donde t_m es la temperatura media diaria (°C) y t_b es la temperatura base de crecimiento = 4,5° C para trigo y alpiste.

El cociente fototermal (Q) se calculó siguiendo la metodología utilizada por Fischer (1985) para el período crítico de trigo (Savin y Slafer, 1991; Slafer *et al.*, 2005^{a,b}) y para el período crítico de alpiste (Bodega *et al.*, 2010),

$$Q = \text{RFAint.} / (t_m - t_b), \text{ ec 2}$$

donde RFAint. = fue el promedio de la radiación fotosintéticamente activa interceptada (MJ m⁻²) desde 21 días previos a antesis hasta los 10 días posteriores. La radiación incidente fue registrada mediante un radiómetro y transformada a radiación fotosintéticamente activa multiplicando por 0,48 (Andrade y Sadras, 2000).

La intercepción de radiación (Rint), se registró semanalmente, en cada parcela, comenzando 40 días posteriores a la emergencia del cultivo y hasta 20 días posteriores a antesis. Se utilizó una barra de 1 m de longitud (Cavadevices.com, Buenos Aires, Argentina). Las medidas se realizaron alrededor del medio día solar (entre 11,30 AM a 14,30 PM), siguiendo la metodología sugerida por Gallo y Daugherty (1966) colocando el sensor perpendicular a los surcos. Se hicieron dos medidas por parcela colocando la barra sobre el cultivo (Io) y bajo la canopia (It). La Rint por el cultivo se obtuvo como:

$$\text{Rint (\%)} = (100 - (It / Io) * 100), \text{ ec. 3}$$

Con el objeto de calcular la radiación fotosintéticamente activa acumulada (RFAacum en Mj m^{-2}) se ajustó una recta de regresión entre los registros de radiación interceptada, medidos semanalmente y días para el período comprendido entre Z3.1 y Z6.1. Con esta ecuación se calculó la radiación interceptada por los cultivos diariamente (en porcentaje), luego estos valores fueron multiplicados por la radiación fotosintéticamente activa diaria ($\text{Mj m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). De esta forma la RFAacum durante la etapa se obtuvo sumando los valores diarios en ($\text{Mj m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). La eficiencia de uso de la radiación (EUR; g Mj^{-1}) fue considerada como la pendiente de la regresión lineal entre materia seca (g m^{-2}) y RFAacum (Mj m^{-2}).

La producción de material seco se estimó semanalmente desde los 40 días posteriores a la emergencia hasta los 20 días posteriores a la antesis. Las evaluaciones se hicieron cortando a nivel del suelo una superficie de $0,5 \text{ m}^2$ ($0,50 \text{ m}$ lineales por 5 surcos) de cada parcela. Estas muestras fueron pesadas y con posterioridad se extrajeron dos alícuotas de 40 y 20 tallos. Con la primera alícuota, después de secada a 75°C por 96 h, se determinó el total de materia seca de la muestra. Con la segunda alícuota se estimó el contenido de material seco de cada componente (hojas, tallos+ vainas e inflorescencias). La tasa de crecimiento del cultivo y de las diferentes partes de la planta (tallos más vainas e inflorescencias) en $\text{g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ se calculó por regresión lineal, utilizando los valores de cada repetición. La tasa de crecimiento de los tallos (TCT; $\text{g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$); panojas (TCP; $\text{g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) y espigas (TCE; $\text{g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) se calcularon por regresión lineal en el período comprendido entre 21 días previos a antesis y 7 días después en trigo y 14 días antes de antesis y 7 días posteriores en alpiste; en todos los casos se buscaron niveles de ajuste de las funciones superiores al 94%.

En el momento de cosecha el rendimiento de grano y el número de espigas y panojas m^{-2} se determinó en cada parcela cosechando una superficie de $0,8 \text{ m}^2$. La trilla se realizó

con una trilladora estática. El rendimiento de grano fue llevado a 14% de humedad. El peso de los 1000 granos se obtuvo utilizando dos muestras de 500 granos por parcela. El NG se obtuvo en base al rendimiento en grano y el peso de los 1000 granos. El número de granos por inflorescencia se estimó como el cociente entre el NG y el número de panojas/espigas m^{-2} . El índice de fertilidad de la panoja/espiga (granos g^{-1}) se calculó como la relación entre el NG y el peso seco de espiga/panoja sin granos, en antesis. El IC se calculó como la relación entre el rendimiento de grano y la biomasa total del cultivo y se expresó en porcentaje. La información climática (radiación global, temperaturas diarias y precipitaciones) se obtuvieron de la estación meteorológica de INTA Balcarce localizada a 200 m, aproximadamente, de los ensayos.

2.3. Análisis estadístico

Los análisis de varianza se realizaron utilizando el programa InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2008). Cuando los análisis de varianza fueron significativos $P < 0,05$, se utilizó la prueba de diferencias mínimas significativas (LSD). Los análisis de regresión lineal y correlación se realizaron con los valores por repetición de cada variable (Little y Hills, 1976; Gómez y Gómez, 1998).

3. RESULTADOS

3.1. Estaciones de crecimiento

Desde el punto de vista climático, las precipitaciones fueron favorables para lograr altos rendimientos en ambos cultivos en los tres años de ensayos (Cuadro 1). Sin embargo, las altas temperaturas del mes de noviembre del año 2002 (coincidiendo con el período crítico para la determinación del número de granos) redujeron los rendimientos de grano de ambos cultivos en relación a los años 2000 y 2001. Este efecto se vio reflejado en el menor valor del cociente fototermal para ese año (Cuadro 3).

Cuadro 1: Temperaturas y precipitaciones mensuales, durante el ciclo de cultivo, en los años 2000-2001-2002 y el promedio histórico (últimos 23 años) en Balcarce.

Meses/ años	2000	2001	2002	Promedio histórico z
Temperatura promedio (°C)				
Junio	9,5	8,9	7,0	8,6
Julio	6,4	7,0	7,7	7,7
Agosto	8,0	10,8	8,9	9,2
Setiembre	9,8	10,6	10,1	10,5
Octubre	12,5	14,6	14,8	13,4
Noviembre	15,3	15,5	16,8	16,2
Diciembre	18,5	18,7	19,4	18,9
Precipitaciones (mm)				
Junio	82,2	66,1	17,6	50,5
Julio	14,6	25,9	44,7	44,5
Agosto	52,0	118,4	100,3	51,8
Setiembre	61,0	103,4	90,2	60,3
Octubre	96,5	156,4	275,8	98,8
Noviembre	34,6	197,7	168,7	96,8
Diciembre	83,3	122,5	38,5	97,3

Z Valores promedios para los últimos 23 años (1980 a 2003)

Cuadro 2: Fechas de siembra, emergencia, antesis, grados-día de crecimiento desde emergencia a antesis (°Cd), ciclo desde emergencia a cosecha y comienzo de elongación de tallos (días antes de antesis) para trigo y alpiste en los años 2000-2001 y 2002.

Años y Fecha de siembra	Emergencia (fecha)		Antesis		Emergencia a antesis (°Cd)		Ciclo días		Comienzo de elongación de tallos (días previos a antesis)	
	Alpiste	Trigo	Alpiste	Trigo	Alpiste	Trigo	Alpiste	Trigo	Alpiste,	Trigo
2000 27 Julio	16 Ago.	14 Ago.	23 Nov.	16 Nov.	685 a	628 a	128 a	145 b	36 a	35 a
2001 24 Julio	14 Ago.	13 Ago.	21 Nov.	14 Nov.	780 a	730 a	144 a	154 b	37 a	36 a
2002 5 Agosto	25 Ago.	22 Ago.	20 Nov.	13 Nov.	775 a	687 a	126 a	135 b	32 a	30 a
Promedio	18 Ago.	16 Ago.	21 Nov.	14 Nov.	747	682	133	144	35	34

a-b Promedios dentro de cada año seguidos por la misma letra no difieren significativamente LSD (P<0,05)

Cuadro 3: Rendimiento en grano (Rend.), peso de las semillas, materia seca a cosecha (MST), espigas/panojas m², semillas por espiga/panoja, cociente fototermal (Q) y relación de rendimiento de grano (trigo/alpiste) para los años 2000-2001 y 2002,

Años	Cultivos	Rend.	Peso de semillas (g m ⁻²)	MST (g m ⁻²)	Espigas/ Panojas m ⁻²	Semillas espiga ⁻¹ panoja ⁻¹	Q (Mj °C ⁻¹)	Rend. Trigo/ alpiste
2000	Alpiste	155,7 a	6,4 a	1268 a	464 a	55 a	0,93 a	4,0
	Trigo	626,6 b	36,6 b	1557 b	746 b	24 b	0,93 a	
2001	Alpiste	154,8 a	6,3 a	1162 a	496 a	52 a	0,92 a	3,2
	Trigo	503,2 b	36,0 b	1372 b	570 b	25 b	0,89 a	
2002	Alpiste	122,4 a	6,4 a	1034 a	421 a	44 a	0,67 a	3,6
	Trigo	443,6 b	36,2 b	1343 b	556 b	22 b	0,69 a	
Promedio	Alpiste	144,3	6,4	1155	460	50	0,84	3,6
	Trigo	524,5	36,3	1424	624	24	0,84	

a-b Valores promedios dentro de cada columna y año seguidos por la misma letra no difieren significativamente LSD (P<0,05)

3.2. Fenología

Si bien la suma térmica °Cd desde emergencia a antesis varió con los años debido a las diferencias en las fechas de siembra de cada año (Cuadro 2); la emergencia del alpiste ocurrió, en promedio, dos días posteriores a la emergencia del trigo mientras que la antesis, en alpiste, ocurrió una semana más tarde que en trigo lo que se ve reflejado en las sumas térmicas acumuladas, menores en trigo que en alpiste (65 °Cd, promedio de los tres años). Independientemente de estas diferencias, el ciclo total desde emergencia a cosecha fue más corto en alpiste que en trigo debido a un menor período de llenado de granos en alpiste (Cuadro 2).

3.3. Rendimiento de granos y componentes

El promedio de rendimiento de grano de trigo en los tres años (524,5 g m⁻²) fue 3,6 veces superior que el de alpiste (144,3 g m⁻²) y el IC de trigo también fue tres veces mayor que el de alpiste (Cuadro 3, Figura 1a). En ambos cultivos, las variaciones en el rendimiento, entre años, estuvieron asociadas principalmente con el NG más que con el peso de los mismos (Figura 1b). El peso de los granos no varió sig-

nificativamente entre años con un promedio de 6,5 mg y 39 mg para alpiste y trigo respectivamente. No obstante la importante diferencia entre las dos especies en el peso de los granos este componente del rendimiento no explicó las variaciones de rendimiento entre años para cada uno de los cultivos. En los tres años, el trigo tuvo un mayor número de inflorescencia (624 espigas m⁻²) que alpiste (460 panojas m⁻²), mientras que el alpiste presentó un mayor número de granos por panoja que granos por espiga en trigo (50 grano panoja⁻¹ vs 24 granos espiga⁻¹, en alpiste y trigo, respectivamente) (Cuadro 3).

3.4. Intercepción de radiación y producción de biomasa

En la figura 2a se muestra la Rint por ambos cultivos durante su estación de crecimiento. En las primeras etapas el trigo superó al alpiste en su habilidad para interceptar radiación. El lento desarrollo del canopeo del alpiste desde emergencia hasta cuatro hojas, en relación con el trigo, explica este comportamiento. Esta diferencia entre los dos cultivos se mantuvo hasta el comienzo de la elongación de tallos (85% y 95% para alpiste y trigo,

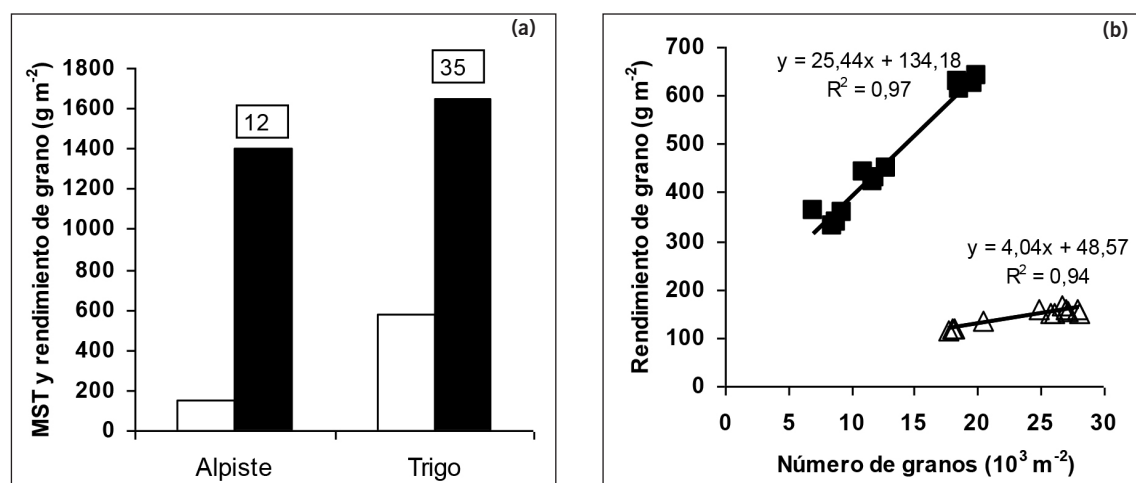


Figura 1: (a) Rendimiento de grano (14% humedad), materia seca a cosecha (MST) (incluyendo laminas senescentes) e índice de cosecha (entre paréntesis) para alpiste y trigo. Máximo error estándar de los promedios de rendimiento de grano fueron 19,1 y 14,5 g m⁻² para trigo y alpiste respectivamente; (b) Relación entre rendimiento de granos y número de granos m⁻² para alpiste (Δ) y trigo (■). Cada punto representa el valor de una repetición para los años 2000-2001-2002.

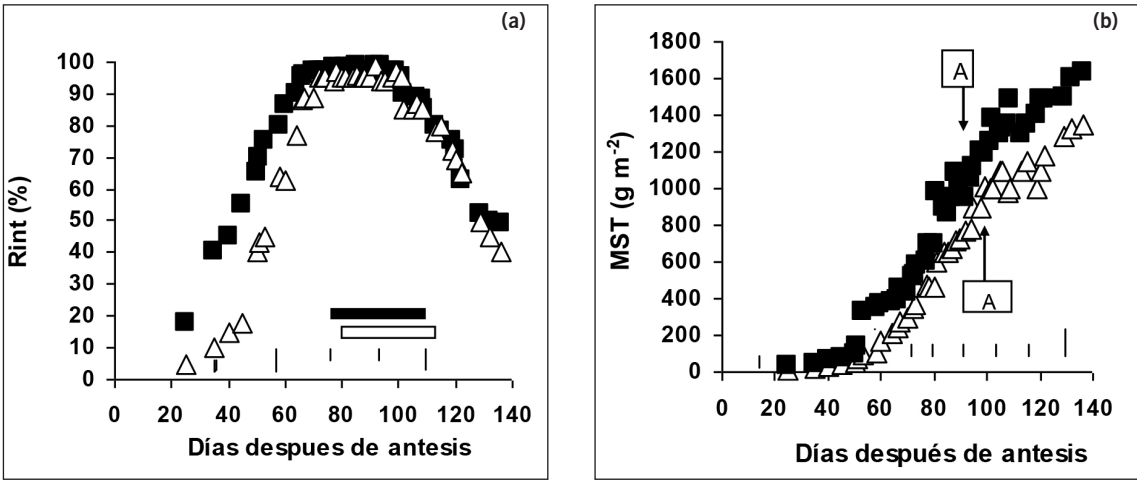


Figura 2: (a) Radiación interceptada expresada en % (Rint) y (b) Materia seca a cosecha (MST) en función de los días posteriores a la emergencia en alpiste (Δ) y trigo (■). Las barras horizontales identifican el período crítico para la determinación del número de granos (negro, trigo; blanco, alpiste). A= antesis. Barras verticales representan el error estándar de las medias (la ausencia de barras indica que el valor fue muy chico). Valores promedios para los años 2000-2001-2002.

respectivamente). Con posterioridad el alpiste tuvo un leve desarrollo del canopeo que le permitió estrechar estas diferencias llegando a antesis con valores de intercepción de radiación cercanos al 90%. Durante el periodo de llenado de granos la duración del área foliar fue menor en alpiste que en trigo debido a que este cultivo completó antes el llenado de granos.

Aunque la *RFAacum* durante la estación de crecimiento varió con los años y fechas de siembra, en promedio el alpiste interceptó

502 MJ m⁻² y el trigo 619 MJ m⁻², estos valores representaron el 64% y 71% de la radiación fotosintéticamente activa total incidente, en la estación de crecimiento. Esta diferencia en *RFAacum* se vio reflejada en la biomasa total producida por ambos cultivos, que fue significativamente más alta en trigo ($P<0,05$) que en alpiste en los tres años (Cuadro 3, Figura 2b). Sin embargo, la biomasa total en antesis, no tuvo diferencias significativas entre los cultivos (Cuadro 4). Es por eso que las diferencias en biomasa (en adición al momento de antesis)

Cuadro 4: Materia seca en antesis (MSA) y su relación con el peso seco en antesis de tallos y espigas/panojas, expresado como un porcentaje de la MSA para trigo y alpiste en los años 2000-2001 y 2002,

Años	Cultivos	MSA (g m ⁻²)	Tallos (%)	Panoja espiga (%)
2000	Alpiste	1021 a	61 a	9,6 a
	Trigo	1108 a	61 a	23,0 b
2001	Alpiste	968 a	65 a	9,5 a
	Trigo	977 a	58 a	22,0 b
2002	Alpiste	860 a	62 a	9,4 a
	Trigo	938 a	57 a	21,0 b
Promedio	Alpiste	950	63	9,5
	Trigo	1007	59	22,0

a-b Valores promedios dentro de cada columna y año seguidos por la misma letra no difieren significativamente LSD ($P<0,05$)

pueden atribuirse al mayor periodo de llenado de granos en trigo, en el cuadro 2 se observa que el trigo demoró 13 días más que el alpiste hasta el momento de cosecha. Si bien la fecha de madurez fisiológica es importante para cuantificar el final del período de llenado de granos, no fue evaluada en este estudio.

3.5. Eficiencia de uso de la radiación

La eficiencia de uso de la radiación interceptada estimada como la pendiente de la regresión lineal entre materia seca y RFAacum no presentó diferencias entre ambos cultivos, siendo la pendiente similar ($2,28 \pm 0,20 \text{ g MJ}^{-1}$ y $2,37 \pm 0,25 \text{ g MJ}^{-1}$ para alpiste y trigo, respecti-

vamente) (Figuras 3 a, b). Dado la similitud observada en la eficiencia de uso de la radiación, entre ambos, es posible pensar que las diferencias en producción de materia seca, entre los cultivos y entre años fueron el resultado de diferencias en el porcentaje de radiación interceptada y en el tiempo la intercepción de radiación, postantesis.

3.6. Crecimiento de hojas, tallos e inflorescencia previos a antesis

La acumulación de materia seca en hojas fue superior a la de tallos e inflorescencias hasta los 35 días y 34 días previos a antesis en alpiste y trigo, respectivamente (Figura 4

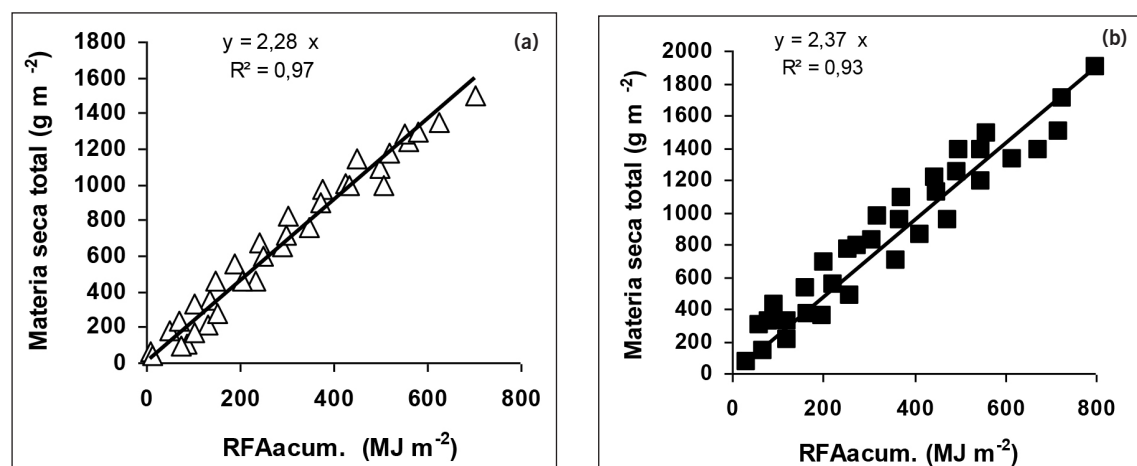


Figura 3: Materia seca acumulada en función de la radiación, fotosintéticamente activa, interceptada acumulada (MJ m⁻²) para (a) alpiste (Δ), (b) trigo (■). Valores promedios de los años 2000-2001-2002.

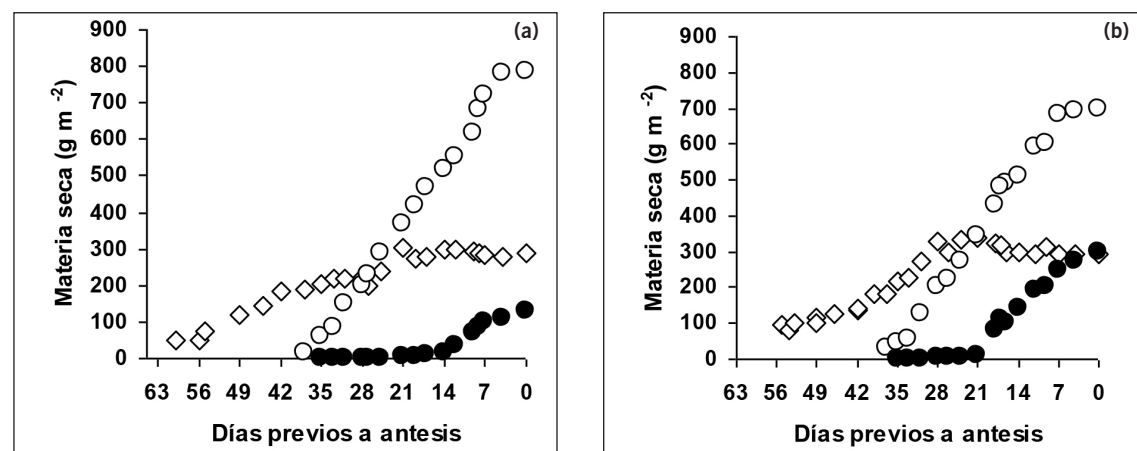


Figura 4: Materia seca acumulada en hojas (◇), tallos (con vainas) (○), panojas y espigas (■) en función de los días previos a antesis para (a) alpiste y (b) trigo. Valores promedios para los cultivos en los años 2000-2001-2002.

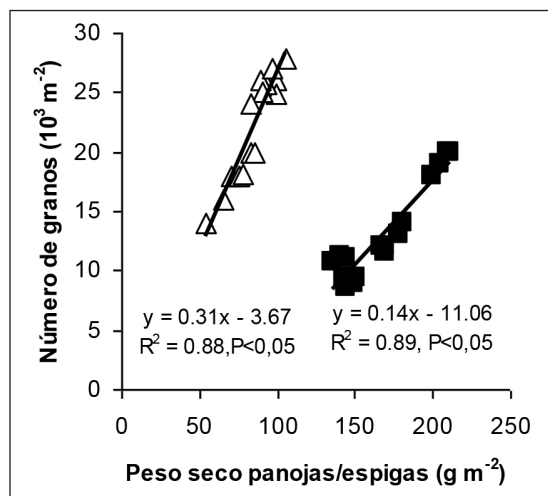


Figura 5: Número de granos m⁻² en función del peso seco de las panojas/ espigas m⁻² en antesis para alpiste (Δ) y trigo (■), ajustados por regresión lineal. Cada punto representa una repetición de los ensayos conducidos en los años 2000-2001-2002.

a,b). En ese momento, los tallos de alpiste y de trigo habían acumulado el 4,3% y el 5,1% de su material seco en antesis y la inflorescencia había acumulado apenas el 0,1% y 0,6% de la materia seca de antesis, respectivamente. Se puede observar que alrededor de los 20 días previos a antesis las hojas llegaron a su máximo peso seco (momento en que se produce la emergencia y expansión de la hoja bandera). Con posterioridad, el tallo y la inflorescencia fueron los dos órganos de la planta que continuaron creciendo tanto en trigo como en alpiste. Durante este tiempo la panoja de alpiste y la espiga de trigo, creciendo junto con el tallo, acumularon más del 95% de su peso seco de antesis.

3.7. Peso seco de las inflorescencias y periodo de crecimiento

El peso seco de las inflorescencias en antesis se relacionó positivamente con el NG en trigo ($r^2 = 0,89$, $P < 0,05$, $n = 12$) y alpiste ($r^2 = 0,88$, $P < 0,05$, $n = 12$) (Figura 5). Aunque el peso de las inflorescencias de trigo fue mayor ($P < 0,05$) que las de alpiste, estas diferencias no surgieron por la mayor biomasa lograda por los cultivos en antesis (Cuadro 4). El análisis

del peso seco alcanzado por las inflorescencias en antesis a través de sus dos componentes: (a) la duración del período de rápido crecimiento en la fase de preantesis y (b) la tasa de acumulación de materia seca durante ese período; revela importantes diferencias entre los dos cultivos. En alpiste, el crecimiento efectivo de la panoja se produjo en los 14 días previos a antesis mientras que en trigo el crecimiento lineal de la espiga comenzó 21 días previos a la antesis (Figura 4 a, b). Esta mayor duración del período de crecimiento fue acompañada de una mayor partición de materia seca en trigo que en alpiste. Considerando que los tallos y las inflorescencias fueron los únicos órganos de la planta que continuaron acumulando materia seca dentro de los 21 días previos a antesis, el análisis de la partición de materia seca a la espiga/ panoja como un porcentaje del total (espiga / (panoja + tallo) muestra importantes diferencias entre los cultivos, esta mayor disponibilidad de fotoasimilados para la espiga de trigo (40,5%) que en alpiste (27,4%) se observa en el cuadro 5. El peso de los tallos en antesis no mostró diferencias significativas ($P < 0,05$) entre cultivos y representó entre el 63% y 59% del peso seco total de antesis para alpiste y trigo respectivamente (Cuadro 4) pero la importancia del tamaño del tallo en el momento en que comenzó el crecimiento rápido de la espiga/ panoja presentó importantes diferencias entre ambos cultivos. Así la partición de materia seca a la espiga se incrementó cuando el tallo de trigo tenía la mitad del peso seco que el de alpiste (Figura 6 a, b, c). Esta diferencia en el peso de los tallos marca, de alguna manera, las diferentes habilidades competitivas de las inflorescencias para captar los fotoasimilados; mayor en trigo que en alpiste.

3.8. Índice de fertilidad de la panoja y espiga

El número de granos presente en la espiga/panoja, puede analizarse a través del peso seco de las espigas/panojas en antesis y del índice de fertilidad de las espigas/panojas. El índice de fertilidad (número de granos por

Cuadro 5: Tasa de crecimiento del tallo (TCT) calculada por regresión lineal en el período comprendido entre los 35 días previos a antesis y los 7 días después, Tasa de crecimiento de espigas (TCE) y panojas (TCP) calculadas por regresión en el período comprendido entre los 21-14 días previos a antesis y los 7 días posteriores y su relación expresada en (%) del total (TCT/(TCT+TCE/P) en trigo y alpiste en los años 2000- 2001-2002.

Años	Cultivos	TCT (g m ⁻² d ⁻¹)	TCE y TCP(g m ⁻² d ⁻¹)	TCT/(TCT+TCE/P) %
2000	Alpiste	16,1 a	6,2 a	27,8 a
	Trigo	18,0 a	13,9 b	43,6 b
2001	Alpiste	15,7 a	6,0 a	27,6 a
	Trigo	14,0 a	8,9 b	38,9 b
2002	Alpiste	15,1 a	5,5 a	26,7 a
	Trigo	15,6 a	10,0 b	39,1 b
Promedio	Alpiste	15,6	5,9	27,4
	Trigo	15,9	10,9	40,5

a-b Valores promedios dentro de cada columna y año seguidos por la misma letra no difieren significativamente LSD (P<0,05)

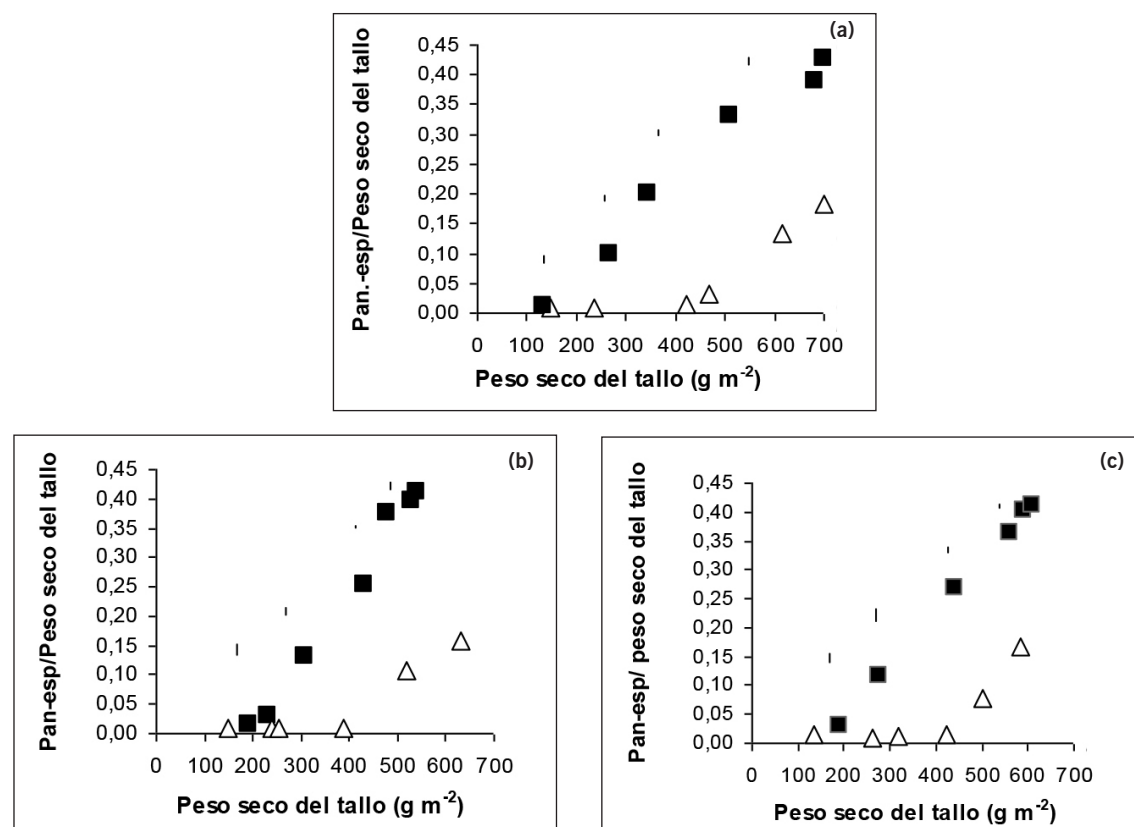


Figura 6: Relación entre: peso seco de Panoja (Pan)-espiga (esp) / peso seco del tallo (vainas incluidas) y el peso seco del tallo en diferentes momentos previos a antesis para trigo (■) y alpiste (Δ). Las barras verticales representan el error estándar de las medias (la falta de barras indica que el valor fue muy pequeño). Valores promedios de los cultivos para los años (a) 2000; (b)2001;(c)2002.

gramo de peso seco de espiga/panoja en anthesis), fue en promedio 3,3 veces mayor para alpiste que para trigo (250 ± 30 granos g^{-1} y 76 ± 12 granos g^{-1} de panoja y espiga para alpiste y trigo, respectivamente). Cuando se considera la inversa de este valor se observa que son necesarios $13,2 \pm 1,83$ mg de materia seca de espiga por grano (trigo) y $4 \pm 0,42$ mg de materia seca de panoja por grano de alpiste. Los valores mencionados del índice de fertilidad se obtuvieron con pesos secos de espigas comprendidos entre los 205 y 147 g m^{-2} (trigo) y de panojas entre 78 a 95 g m^{-2} (alpiste).

4. DISCUSIÓN

El mejoramiento genético ha sido un objetivo prioritario para elevar el potencial de rendimiento de los cultivos (Reynolds *et al.*, 2009, 2011; Sadras y Calderini, 2009; Fischer y Edmeaders, 2010; Sadras y Lawson, 2011). En general los cultivares de alto potencial de rendimiento logran mayores rendimientos de granos que los cultivares con menor potencial dentro de un amplio rango de condiciones ambientales (óptimas y subóptimas) (Evans y Fischer, 1999; Slafer y Calderini, 2005; Foulkes *et al.*, 2009). En la Argentina, la producción de trigo y su mejoramiento genético llevan muchos años de antigüedad lo que se ve reflejado en el alto número de cultivares comerciales registrados (INASE, 2015). En contraste no hay cultivares comerciales registrados de alpiste, aunque su cultivo data en las estadísticas oficiales desde principios del siglo XIX.

Los resultados de este trabajo muestran que, en promedio de tres años, el rendimiento de alpiste ($144,3 \text{ g m}^{-2}$) fue 27,5% (3,6 veces menor) que el de trigo. En las estadísticas argentinas SIIA (2015) se puede ver que el rendimiento de los cultivos de alpiste varía entre un 31 y 48% de aquellos obtenidos en trigo (promedio de los últimos 15 años). La diferencia con los valores de este trabajo pueden surgir (a) por las diferentes superficies ocupadas en la Argentina con ambos cultivos. El área sem-

brada con alpiste en los últimos 15 años ha sido sólo el 0,25% a 0,6% del área sembrada con trigo. Por ello las variaciones climáticas, entre las zonas de producción de trigo pueden afectar el rendimiento de granos en forma positiva o negativa y ello puede dar importantes diferencias entre los valores estadísticos nacionales y los de este trabajo; (b) los menores niveles de nitrógeno agregados al alpiste en relación con el trigo podrían haber aumentado la brecha de rendimiento entre ambos por lo cual en futuros trabajos se recomienda mantener los mismos niveles de fertilización.

El mayor rendimiento de grano de trigo, obtenido en este trabajo, en comparación con el de alpiste se asocio principalmente con un mayor IC de trigo (0,35) respecto al IC de alpiste (0,12). En trigo, la presencia de los genes de enanismos Rht1 y Rht2 son los responsables de estos aumentos en los rendimientos de grano debido a la menor competencia entre tallos y espiga, en el momento de rápido crecimiento de la misma, lo cual resulta en un mayor número de granos y como consecuencia un mayor IC con cambios poco significativos en los rendimientos biológicos (Austin, 1980; Siddique *et al.*, 1989; Slafer y Andrade, 1993; Bodega y Andrade, 1996; Calderini *et al.*, 1999; Slafer *et al.*, 2005; Foulkes *et al.*, 2011; Reynolds *et al.*, 2011).

En alpiste no se dispone de genes de enanismo y el IC mencionado para la especie generalmente es $< 0,20$ (Harbison, 1986; Bodega *et al.*, 1995, 2003, 2010; Cogliatti *et al.*, 2011). Analizando las diferencias entre el valor encontrado en este trabajo para el cultivar, Buck Sureño (0,35) y aquellos mencionados por Gonzales *et al.* (2011) para los cultivares de trigo argentinos (0,42), sería razonable pensar que el rendimiento potencial del alpiste debiera ser mejorado elevando su IC. La pregunta es: ¿Qué aspecto se debe mejorar para incrementar el IC? Algunas respuestas a esta pregunta se tratan de dar en los siguientes párrafos y se muestran los posibles incrementos de rendimiento que se podrían lograr.

Los resultados de este trabajo muestran que las variaciones anuales de rendimiento tanto en trigo como en alpiste surgen como consecuencia de variaciones en el NG y en menor extensión por variaciones en el peso de las semillas. El NG depende del número de inflorescencias m^{-2} y del número de granos por espiga/panoja. El mejoramiento genético del NG en trigo ha sido asociado estrechamente con aumentos en el número de granos por espiga sin importantes cambios en el número de espigas m^{-2} (Siddique *et al.*, 1989; Slafer *et al.*, 1990; Slafer y Andrade, 1993; Calderini *et al.*, 1999; Duggan *et al.*, 2000). En este sentido, el peso seco de las inflorescencias sin grano en antesis y el índice de fertilidad de la panoja/espiga, son dos aspectos muy asociados con la determinación del número de granos por espiga y por unidad de superficie. En este estudio, las variaciones en el NG pudo ser explicado por cambios en el peso seco m^{-2} de las inflorescencias (espigas y panojas) en antesis, en ambos cultivos. En general se sabe que cuanto más pesadas sean las espigas/panojas en antesis, mayor será el número de flores que se fijaran y mayor el número de granos que se formarán (Slafer y Andrade, 1992; Fisher 1985, 2007; Gaju *et al.*, 2009; Bassu *et al.*, 2010).

El análisis comparativo del peso seco de las inflorescencias de trigo y alpiste a través de sus componentes, (a) la tasa de crecimiento de la espiga/panoja y (b) la longitud del periodo de rápido crecimiento de la panoja/espiga muestra que trigo supera a alpiste en ambos componentes. Así el mayor peso seco de la espiga de trigo en antesis resulta de una mayor partición de material seca (40,6 % vs 28,7 %) y de un más largo período de crecimiento de la inflorescencia previo a antesis (21 días vs 14 días).

Con respecto a la mejora de la partición de materia seca a la inflorescencia previo a antesis, Foulkes *et al.* (2011) consideran que podría resultar de una reducción en la cantidad de fotoasimilados destinados a otros destinos alternativos que compiten, en ese momento,

con la espiga (hojas, raíces, tallos). De acuerdo con este autor, la reducción del suministro de fotoasimilados a las hojas podría ser incompatible con la búsqueda de la eficiencia de uso de la radiación y en el caso particular del alpiste reducir la intercepción de radiación. Por eso los otros dos destinos que quedarían serían las raíces y el tallo. No obstante, y considerando que el alpiste no posee un sistema radical muy extendido en profundidad, la limitación de fotoasimilados a las raíces podría afectar su capacidad para extraer agua del perfil y con ello los rendimientos de grano se verían perjudicados. Por lo tanto, considerando estos puntos, el incremento de la partición de material seca a la panoja de alpiste debiera ser una consecuencia de la disminución de la partición de materia seca a los tallos.

En síntesis y contrastando los indicadores de trigo con los resultados de este estudio, surgen dos aspectos; cuya mejora podría producir mejoras significativas en el rendimiento de grano del alpiste: (a) incrementar la duración del período de crecimiento de la panoja, previo a antesis, con lo que se lograría una mayor acumulación de materia seca y (b) mejorar la partición de materia seca a la panoja en ese período. El primero de estos desafíos consiste en extender el período de crecimiento de la panoja de 14 a 21 días o más sin que se altere el momento de antesis o la longitud del macollaje. Algunas investigaciones (Gonzales *et al.*, 2003 a,b; 2005a,b; 2011; Miralles *et al.*, 2000; Slafer *et al.*, 2001) indican que en trigo, la duración de cada etapa del desarrollo puede ser modificada independientemente de la duración de las otras, en alpiste los trabajos en este sentido son escasos pero ellos parecen indicar que la duración de las diferentes etapas se encuentran correlacionadas con lo que la modificación de una de ellas traería aparejado el cambio en otras (Campolietto, 2006). El alpiste tiene sensibilidad fotoperiódica en todos los estados de desarrollo previos a antesis y principalmente durante la etapa de elongación de tallos y crecimiento de la panoja (Bodega *et al.*, 2003b), este aspecto ofrece una posibi-

lidad de mejorar la longitud de esta etapa en la medida que se modifiquen los genes que controlan esta característica. La utilización de estos aspectos como criterios de selección, en futuros planes de mejoramiento, depende de la identificación de los genes responsables del control de la longitud del ciclo previo a antesis. (Matus y Hucl, 1999, 2001; Cogliatti *et al.*, 2011). La evaluación de los cultivares canadienses CDC María, CDC Togo y CDC Bastia, obtenidos por mutagenesis, puede resultar de sumo interés ya que la manipulación genética utilizada para su obtención puede haber modificado otras características de la especie junto con la ausencia de cilias en las semillas (May *et al.*, 2013).

El segundo desafío consiste en reducir la habilidad competitiva de los tallos con la panoja durante el periodo de rápido crecimiento de la panoja. La importancia del tamaño del tallo en el momento en que comienza el crecimiento rápido de la panoja (14 días previos a antesis) es clave para entender este proceso. La materia seca particionada a la panoja comienza a incrementarse una vez que el tallo de alpiste alcanzó aproximadamente el doble del peso seco que el de trigo (Figura 6 a,b,c). Este comportamiento observado en alpiste resulta similar al mencionado por Slafer y Andrade (1993); Miralles y Slafer (1995, 1997; Miralles *et al.* (2002) para trigos, altos, de tipo tradicional (sin genes de enanismo). Por ello los autores atribuyen los mayores rendimientos de grano de los cultivares semienanos argentinos en comparación con los tradicionales a la mayor habilidad competitiva de la espiga en relación a los tallos al momento de comenzar su rápido crecimiento.

Como se dijo anteriormente el número de granos que una espiga/panoja puede tener se encuentra relacionado con el peso seco de la inflorescencia en antesis y con el índice de fertilidad (IF) (número de granos por gramo de espiga/panoja en antesis o cosecha) (Fischer, 1984, 2007). Si bien no hay muchos estudios que analicen el IF en trigo, Abbate *et al.* (1998)

encontró variaciones entre cultivares comerciales argentinos liberados al mercado entre los años 1980 y 1990 (63-106 granos g^{-1}); los autores también indican que el NG se relacionó mas estrechamente con este aspecto que con el peso seco de las espigas en antesis. Shearman *et al.* (2005) y Reynolds *et al.* (2006) mencionan valores, de IF, comprendidos entre los 73-129 granos g^{-1} para diferentes cultivares ingleses, pero no encontraron relación entre este aspecto y el NG. Mas recientemente, González *et al.* (2011), en trigos argentinos, menciona una relación directa entre el NG, con el peso seco de la espiga en antesis y el IF, con valores comprendidos entre los 59 y 136 granos g^{-1} ; estos autores sugieren que el NG podría mejorarse trabajando separadamente sobre el peso seco de la inflorescencias y el IF ya que no encontraron relación entre ellos.

La información sobre el IF en alpiste es más escasa que en trigo, no se conocen trabajos que ilustren sobre los valores y las posibles variaciones que puedan presentar las variedades canadienses entre si y en relación con la población argentina. En la Argentina Bodega (2005) y Bodega *et al.* (2010) mencionan un rango de valores comprendidos entre 200 y 250 granos g^{-1} , para la población argentina y el cultivar CDC María. Según Fischer (2007) el IF es una característica genética propia de los cultivares con lo cual y siguiendo en la línea de los trabajos realizados en trigo entre otros por Abbate *et al.* (1998); Shearman *et al.* (2005); Reynolds *et al.* (2006) y González *et al.* (2011) sería de interés, en futuros trabajos, caracterizar las posibles variaciones de esta característica en los cultivares canadienses (Cantate, Keet, Elías) y en los obtenidos por mutagénesis (CDC María, CDC Bastia y CDC Togo) y su relación con el peso seco de las panojas.

Basado en los datos obtenidos en este trabajo, en el cuadro 6 se ilustra el incremento de rendimiento potencial que se podría lograr, en alpiste, si se dispusiera de cultivares que tuvieran los valores mencionados para trigo en:

Cuadro 6: Rendimiento de alpiste (Rend.) calculado utilizando los valores obtenidos para el cultivo de trigo en lo que hace a: Intercepción de radiación, período de crecimiento de la panoja previo a antesis (pasar de 14 a 21 días), mayor partición de materia seca a la panoja, eficiencia de uso de la radiación (EUR), índice de fertilidad. Los valores utilizados, en alpiste, fueron los obtenidos para el cultivar de trigo en este trabajo.

	Semillas m ⁻²	Intercepción de radiación Mj m ⁻²	EUR (Mj g ⁻¹)	Partición %	Índice de fertilidad granos g ⁻¹	Rend. g m ⁻² (*)	Rend. (%)
Este trabajo Mejorando: (Duración+Partición)	22568	144,4	2,28	27,4	250	144,3	100
	45477	197,0	2,28	40,5	250	2911	202

(*) 1000 grains= 6,4 g

Cuadro 7: Rendimiento (Rend.) teórico alcanzable en alpiste, mejorando el índice de cosecha (IC) sin alterar la producción de materia seca total (MST). Los cálculos se hicieron siguiendo el razonamiento empleado por Austin (1980) para determinar el índice de cosecha máximo posible para los cultivares de trigo ingleses (Fuente Foulkes et al., 2011).

	Austin (1980)		Este trabajo		Mejorado	
	Rend. g m ⁻² *	IC (%)	Rend. g m ⁻² +	IC (%)	Rend. g m ⁻² ++	IC (%)
Grano	895	62	144	12	480	42
Envolturas florales	181	13	26	2	97	8
Hojas (láminas)	139	10	170	16	170	15
Tallos+vainas	226	15	815	70	408	35
MST	1441		1155		1155	

(*) Austin (1980), IC Teórico para los modernos cultivares, de esa época en Inglaterra.

(+) Resultados de este trabajo para la población argentina de alpiste.

(++) Máximo IC (teórico) de la población argentina de alpiste aplicando el razonamiento de Austin, (1980), a los datos obtenidos en este trabajo.

(a) duración del período de rápido crecimiento de la panoja (pasar de 14 a 21 días) junto con mayor intercepción de radiación y (b) un incremento en la partición de materia seca a la panoja (desde 27,4% a 40,5%). Se observa que con la mejora de estos atributos el rendimiento de alpiste podría llegar a duplicarse.

Otra especulación teórica que se puede hacer siguiendo el razonamiento de Austin (1980) cuando demuestra que el rendimiento potencial de trigo puede llegar hasta un máximo IC=0,62; con los datos de este trabajo y considerando que en alpiste (1) no se registrarían cambios en el contenido de biomasa total; (2) que la materia seca invertida en hojas e inflorescencia no se reduciría (3) que la materia seca invertida en tallos y vainas podría reducirse en un 50%, (4) que el peso seco de las envolturas florales debiera incrementar-

se, para poder contener el mayor número de granos, (20% del rendimiento de grano); en el cuadro 7 se puede observar que sin incrementar la producción de biomasa a cosecha y mejorando la partición de materia seca a la panoja el alpiste podría lograr un IC de 42% con rendimientos de grano de 480g m⁻². Con estos valores la relación de rendimientos con trigo sería menor pasando de 3,6 a 1,6.

5. CONCLUSIONES

Si bien los resultados de este trabajo, no permiten hacer generalizaciones más allá de las referidas al cultivar de trigo utilizado, a través del análisis de las similitudes y diferencias entre el cv. de trigo y la población de alpiste respecto de algunos atributos ecofisiológicos relacionadas con la determinación del NG se

ha observado que el rendimiento de alpiste podría ser incrementado significativamente a través del mejoramiento genético identificando líneas o cultivares que posean: (a) mayor duración del período de crecimiento rápido de

la panoja (>14 días, previos a antesis), (b) incrementos en la partición de materia seca a la panoja en esa etapa por menor dominancia de los tallos sobre la panoja.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbate, P. E.; F. H. Andrade; L. Lázaro; H. Bariffi; H. G. Berardocco; V. H. Inza y F. Marturano. 1998. Grain yield in recent Argentine wheat cultivars. *Crop Sci.* 38, 1203-1209.
- Acreche, M.; G. Briceño-Felix; J. A. Martín Sánchez y G. A. Slafer. 2008. Physiological bases of genetic gains in Mediterranean bread wheat yield in Spain. *European Journal of Agronomy*. 28, 162-170.
- Andrade, F. H. y V. O. Sadras. 2000., Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. *Editorial Médica Panamericana*. Buenos Aires. 443. pp.
- Arne, M. R.; U. L. F. Böttcher y H. Kage. 2012. Improved modeling of grain number in Winter wheat. *Field Crops Res.* 133, 167-175.
- Austin, R. B. 1980. Physiological limitations to cereals yields and ways of reducing them by breeding. In: Hurd, R. G., Biscoe, P. V and Dennis, D. (Eds). Opportunities for increasing Crop Yields. London: Association of Applied Biology. Pitman, 3-9.
- Austin, R. B.; M. A. Ford and C. L. Morgan. 1989. Genetic improvement in the yield of winter wheat: A further evaluation. *J. Agric. Sci.* 112:295-301.
- Bancal, P. 2008. Positive contribution of stem growth to grain number per spike in wheat. *Field Crops Res.* 105, 27-39.
- Bassu, S.; R. Giunta and R. Motzo. 2010. Effects of sowing date and cultivar on spike weight and kernel number in durum wheat. *Crop Pasture Sci.* 61, 287-295.
- Brancourt-Hulmel, M.; G. Doussinault; C. Lecomte; P. Berard; B. Le Buanec and M. Trottet. 2003. Genetic improvement of agronomic traits of winter wheat cultivars released in France from 1946 to 1992. *Crop Sci.* 43, 37-45.
- Bodega, J. L. and F. H. Andrade. 1996. The effect of genetic improvement and hybridization on grain and biomass yield of bread wheat. *Cereal Res. Comm.* 24 :171-177.
- Bodega, J. L.; M. A. de Dios; R. Rodriguez y M. M. Pereyra Iraola. 1995. Caracterización agronómica de poblaciones de Alpiste (*Phalaris canariensis* L.). *Revista Facultad de Agronomía* Buenos Aires. 15 (2-3): 161-17.
- Bodega, J. L.; M. A. de Dios y M. M. Pereyra Iraola. 2003a. Análisis comparativo del rendimiento de semillas y otras características de interés agronómico en poblaciones locales y cultivares introducidos de alpiste. *Revista Facultad de Agronomía* Buenos Aires. 23(2-3) 147-154.
- Bodega, J. L.; M. A. de Dios and M. M. Pereyra Iraola. 2003b. Sowing date affects yield components of canarygrass seed. *Can. J. Plant Sci.* 83: 357-362.
- Bodega, G. I. 2005. Efecto de la época y densidad de siembra sobre el crecimiento, rendimiento y sus componentes en CDC Maria y una población local de alpiste (*Phalaris canariensis* L.). Tesis Ingeniero Agrónomo. U.N.M.d.P. Facultad de Ciencias Agrarias. Balcarce, Argentina. 46 pp.
- Bodega, J. L.; M. A. de Dios y M. M. Pereyra Iraola. 2010. Alpiste: efectos de sombreos antes y después de antesis sobre el rendimiento de granos y sus componentes. *Revista Facultad de Agronomía* Buenos Aires. 30 (3): 137-149.
- Brooking, I. R. and E. J. M. Kirby. 1981., Interrelationships between stem and ear development in winter wheat: effects of a Norin 10 dwarfing gene, Gai/Rht2. *J. Agric. Sci. Camb.* 97: 373-381.
- Calderini, D. F.; M. P. Reynolds and G. A. Slafer. 1999. Genetic gains in wheat yield and main physiological changes associated with them during the 20th century. In: Satorre EH, Slafer GA, eds. Wheat ecology and physiology of yield determination. New York: *Food Product Press*, 351-377.

- Calderini, D. F.; R. Savin; L. G. Abeledo; M. P. Reynolds and G. A. Slafer. 2001. The importance of the period immediately preceding anthesis for grain weight determination in wheat. *Euphytica*. 119,199-204.
- Cogliatti, M.; F. Bongiorno; H. Dalla Valle and W. J. Rogers. 2011. Canaryseed (*Phalaris canariensis* L.) accessions from nineteen countries show useful genetic variation for agronomic traits. *Can. J. Plant. Sci.* 91(1):37-48.
- Campolietto, L. 2006. Efectos de la época de siembra sobre los estados fenológicos del cultivo de alpiste (*Phalaris canariensis* L.). Tesis de Graduación. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata.
- Di Rienzo, J. A.; F. Casanoves; M. G. Balzarini; L. Gonzalez; M. Tablada y C. W. Robledo. (2008). *InfoStat, versión 2008*, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Donmez, E.; R. G. Sears; J. P. Shroyer and G. M. Paulsen. 2001. Genetic gain in yield attributes of winter wheat in the Great Plains. *Crop Science* 41, 1412-1419.
- Duggan, B. L.; D. R. Domitruk and D. B. Fowler. 2000. Yield component variation in winter wheat grown under drought stress. *Can. J. Plant Sci.* 80, 739-745.
- Evans, L. T. and R. A. Fischer. 1999. Yield potentials definition measurement, and significance. *Crop Science* 30, 1544-1551.
- FAOSTAT. 2015. Food and Agriculture Organization of the United Nations. [en línea] < <http://faostat.fao.org> > [consulta 01 junio 2015].
- Fischer, R. A. (1984). Wheat. In Symposium on potential productivity of field crops under different environments (eds WH Smith and Banta. Los Baños, Philippines: IRRI. Pp 129-153.
- Fischer, R. A. (1985). Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *J. Agric. Sci. Camb* 105, 447-461.
- Fischer, R. A. (2007). Understanding the physiological basis of yield potential in wheat. *J. Agric. Sci.* 145,99-113.
- Fischer, R. A. 2008. The importance of grain or kernel number in wheat: a reply to Sinclair and Jamieson. *Field Crops Res.* 105, 15-21.
- Fischer, R. A. and G. O. Edmeades. 2010. Breeding and cereal yield progress. *Crop Science*. 50, 85-98.
- Foulkes, M. J.; M. P. Reynolds and R. Sylvester-Bradley. 2009. Genetic Improvement of grain crops: yield Potential. In Sadras, V. O; D. Calderini. (eds). *Crop Physiology, Applications for genetic improvement and agronomy*. The Netherlands: Elsevier 235-256.
- Foulkes, M. J.; G. A. Slafer; W. J. Davies; P. M. Berry; R. Sylvester-Bradley; M. Pierre; D. F. Calderini; S. Griffiths and M. P. Reynolds. 2011. Raising yield potential of wheat. III. Optimizing partitioning to grain while maintaining lodging resistance. *Field Crops Res.*, 62,469-486.
- Gaju, O.; M. P. Reynolds; D. L. Sparkes and M. J. Foulkes. 2009. Relationships between large-spike phenotype, grain number, and yield potential in spring wheat. *Crop Science*. 49,961-973.
- Gallo, K. P.; C. S. T. Daugerty. 1966. Techniques of measuring intercepted and absorbed photosynthetically active radiation in corn canopies. *Agron. J.* 78:752-756.
- García, F. O.; A. Berardo. A. 2005. Trigo. In Echeverría, H. E., García, F. O. (eds). *Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos*. INTA. INFOFOS: 233-249..
- Gomez, K. A.; A. A. Gomez. 1984. Statistical procedures for agricultural research. Second Edition. John Wiley and Sons. New York. pp 679.
- Gonzalez, F. G.; G. A. Slafer and D. J. Miralles. 2003a. Grain and floret number in response to photoperiod during stem elongation in fully and slightly vernalized wheats. *Field Crops Res.* 81, 17-27.
- Gonzalez, F. G.; G. A. Slafer and D. J. Miralles. 2003b. Floret development and spike growth as affected by photoperiod during stem elongation in wheat. *Field Crops Res.* 81, 29-38.
- Gonzalez, F. G.; G. A. Slafer and D. J. Miralles. 2005a. Photoperiod during stem elongation in wheat: Is its impact on fertile floret and grain number determination similar to that of radiation. *Plant Biol.* 32,181-188..
- Gonzalez, F. G.; G. A. Slafer and D. J. Miralles. 2005b. Pre-anthesis development and number of fertile florets in wheat as affected by photoperiod sensitivity genes Ppd-D1 and Ppd-B1. *Euphytica*. 146,253-269.

- Gonzalez, F. G.; I. I. Terrile and M. O. Falcon. 2011. Spike fertility and duration of stem elongation as promising traits to improve potential grain number (and yield): variation in modern argentinean wheats. *Crop Sci.* 51:1693-1702.
- Harbison, J.; B. D. Hall; R.H.H. Neilson and W. M. Strong. (1986). Comparison of winter cereals, oilseed and grain legume crops on the Darling Downs, Queensland. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 26, 339.
- Holt, N. W. 1988. Effect of nitrogen fertilizer on the agronomic performance and seed quality of annual canarygrass. *Can. J. Plant. Sci.* 68:41-45.
- INASE, 2015. Instituto Nacional de Semillas. Catálogo de cultivares. [en línea] < <http://inase.gov.ar/index.php> > [consulta 15 noviembre 2015].
- Little, T. M.; F. J. Hills. 1976. Métodos Estadísticos para la investigación en la Agricultura. Editorial Trillas, México. pp. 270.
- Matus, M. C. and P. Hucl, 1999. Isozyme variation within and among 143 accessions of annual *Phalaris* L. Species in North American germplasm collections. *Crop. Sci.* 39: 1222-1228.
- Matus, M. C. and P. Hucl. 2011. Morphological variation within and among five annual *Phalaris* species. *Can. J. Plant. Sci.* : 85-88.
- May, E.; C. B. Holzapfel; G. P. Lafond and J. J. Schoenau. 2013. Does the presence of the gene for glabrous hull in annual canarygrass affect the response to chloride fertilizer?. *Canadian Journal of Plant Science*, 93(1): 109-118.
- Midmore, D. J.; P. M. Cartwright and R. A. Fischer. 1984. Wheat in tropical environments: Crop growth and grain yield. *Field Crops Res.* 8, 207-227
- Miralles, D. J.; R. A., Richards and G. A. Slafer. 2000. Duration of stem elongation period influences the number of fertile florets in wheat and barley. *Australian Journal of Plant Physiology*. 27, 931-940.
- Miralles, D. J. and G. A. Slafer. 1995. Yield, biomass and yield components in dwarf, semidwarf and tall isogenic lines of spring wheat under recommended and late sowings dates. *Plant Breedin.* 114,392-396.
- Miralles, D. J. and G. A. Slafer. 1997. Radiation interception and radiation use efficiency of near isogenic wheat lines with different height. *Euphytica*. 97, 201-208.
- Miralles, M. T.; L. M. Gallez and F. E. Möckel. 2002. Alpiste: Revisión de la situación del cultivo. *Revista Facultad de Agronomía Buenos Aires* . 22:7-17.
- Pascale, A. J. y Giordano, H. J. (1962). Características bioclimáticas que determinan la época de siembra del alpiste. *Revista Facultad de Agronomía y Veterinaria* (2): 30-52.
- Reynolds, M. P.; A. Pellegrineschi and B. Skovmand. 2005. Sink-limitation to yield and biomass: a summary of some investigations in spring wheat. *Ann. Appl. Biol.* 146, 39-49.
- Reynolds, M. P.; F. Dreccer and R. Trethowan. 2006. Drought-adaptive traits derived from wheat wild relatives and landraces. *J. Exp. Botany*. 58:177-186.
- Reynolds, M. P.; M. J. Foulkes; G. A. Slafer; P. M. Berry; M. A. J. Parry; J. W. Snape and W. J. Angus. 2009. Raising yield potential in wheat. *J. Exp. Botany*. 60, 1899-1918.
- Reynolds, M. P.; D. Bonnett; S. Chapman; R. Furbank; R., Manes and M. Mather, D., Parry. 2011. Raising yield potential of wheat: (I) overview of a consortium approach and breeding strategies. . *J. Exp. Botany*. 62, 439-452.
- Sadras, V. O. and D. Calderini. 2009. Crop Physiology, Applications for genetic improvement and agronomy. The Netherlands: Elsevier 1st edition. 818pp.
- Sadras, V. O. and C. Lawson. 2011. Genetic gain in yield and associated changes in phenotype, trait plasticity and competitive ability of South Australian wheat varieties released between 1958 and 2007. *Crop and Pasture Science* 62:533-549.
- Saskatchewan Ministry of Agriculture 2013. Varieties of grain. [en línea] <http://www-agriculture.gov.sk.ca/Varieties_Grain_Crops> [consulta 01 junio 2014]
- Savin, R. and G. A. Slafer. 1991. Shading effects on the yield of an Argentinian wheat cultivar. *J. Agric. Sci.* 116, 1-7
- Serrano, H. y Madaloni, J. 1964. Cereales menores, Alpiste. En: Parodi, L. R. eds. *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería vol. II*. Buenos Aires. Argentina. pp. 609-614

- Shearman, V. J.; R. Sylvester-Bradley and M. J. Foulkes. 2005. Physiological processes associated with wheat yield progress in the UK. *Crop Science* 45, 175-185.
- SIIA. 2015. Sistema Integrado de Información Agrícola.[en línea]. <<http://siia.gov.ar/series> [consulta 15 de noviembre de 2015].
- Siddique, K. H. M.; E. J. Kirby and M. W. Perry.1989. Ear:stem ratio in old and modern wheat varieties relationship with improvement in number of grains per ear and yield. *Field Crops Res.* 21, 59-78.
- Slafer, G. A.; F. H. Andrade and E. H. Satorre, E. H. 1990. Genetic improvement effects on preanthesis physiological attributes related to wheat grain yield. *Field Crops Res.* 23,255-263..
- Slafer, G. A. and F. H. Andrade.1993. Physiological attributes related to the generation of grain yield in bread wheat cultivars released at different eras. *Field Crops Res.* 31: 351-357.
- Slafer, G. A.; D. F. Calderini; D. J. Miralles and M. F. Dreccer.1994. Preanthesis shading effects on the number of grains of three bread wheat cultivars of different potential number of grains. *Field Crops Res.* 36: 31-39.
- Slafer, G. A.; L. G. Abeledo; D. J. Miralles; F. G. Gonzalez and E. M. Whiterchurch.2001. Photoperiod sensitivity during stem elongation as an avenue to raise potential yield in wheat. *Euphytica.* 119,191-197.
- Slafer, G. A.; D. J. Miralles; R. Savin; E. M. Whitechurch y F. G. Gonzalez. 2003. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en trigo. In: Satorre, E. H, A. Benezh; G. A. Slafer; E. B. De La Fuente; D. J. Miralles; M. E. Otegui and R. Savin. 2003. Producción de Granos. Bases funcionales para su manejo.101-163 pp. Ed. FAUBA.
- Slafer, G. A.; J. L. Araus; C. Royo and L. F. Garcia del Moral. 2005. Promising ecophysiological traits for genetic improvement of cereal yields in Mediterranean environments. *Ann. Appl. Biol.* 146, 61-70.
- Slafer, G. A. and D. Calderini. 2005. Importance of breeding for further improving durum wheat yield. in Royo C, Nachit MM, di Fonzo N, Araus J. L. Pfeiffer WH, Slafer GA, eds. Durum wheat breeding: current approaches and future strategies. New York: *Food Product Press*, 22-41.
- Way, E. E.; G. P. Lafond; G. P., Gan; Y. T., Hucl; P., Holzapfel; A. M. Johnston and C. Stevenson.2012. Yield variability on *Phalaris canariensis* L. due to seeding date, seeding rate and nitrogen fertilizer. *Can. J. Plant. Sci.* 92:651-669.
- Zadoks, J. C.; T. T. Chang and C. F. Konzak. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14: 415-421.

